

TRANSFERTS THERMIQUES HABITABLE

Étude de cas dans le site d'Adrar



Dr. OUDRANE Abdellatif, né le 13/03/1980 à Aoulef wilaya d'Adrar. Il a pris son doctorat en sciences du génie mécanique énergétique en mars 2018 à l'école nationale polytechnique d'Oran Maurice Audin (ENPO-MA) en Algérie. Il travaille actuellement comme un enseignant-chercheur permanent habilité à diriger des recherches dans la faculté des sciences et de la technique de l'Université Ahmed Draïa de l'Adrar depuis septembre 2019. Il a mené des travaux de recherche dans les domaines du solaire thermique, l'environnement et des énergies renouvelables. Son plus grand objectif est la modélisation théorique et pratique en détaillant des échanges (radiatifs, conducteurs et convectifs) au niveau de tous les compartiments d'une enveloppe habitable. Ses études sont basées sur la caractérisation thermo-physique et dynamique de l'air ambiant.

Il a travaillé au centre universitaire Ahmed Ben Yahia El Wancharissi de Tissemsilt dans la période 2012-2019 à l'institut des sciences et technologies. Il a occupé des postes administratifs et pédagogiques. Il a participé à plusieurs conférences nationales et internationales. En plus, il a publié des articles et des ouvrages scientifiques dans son domaine de recherche.

Liste de ses travaux et publications:

- 06 Publications internationales;
- 15 Publications nationales;
- 11 Communications internationales;
- 16 Communications nationales;
- 04 Ouvrages scientifique (version numérique);
- 01 Ouvrage scientifique (version papier);
- 01 Polycopie scientifique (version papier).

Photo prise dans la ville d'Adrar



Nouvelles Publications Universitaires

Cooperative Eddawadjin, Cité Dalia, N°02-Kiffan
Tlemcen - Algérie

NPU
éditions

OUDRANE Abdellatif



Transferts Thermiques Habitable

Transferts Thermiques Habitable

Étude de cas dans le site d'Adrar

NPU
éditions

TRANSFERTS THERMIQUES HABITABLE

Étude de Cas dans le Site d'Adrar

Dr. OUDRANE Abdellatif

TRANSFERTS THERMIQUES HABITABLE

Étude de Cas dans le Site d'Adrar



Édité par
LA NOUVELLE PUBLICATION UNIVERSITAIRE

TRANSFERTS THERMIQUES HABITABLE
-Étude de Cas dans le Site d'Adrar-

Dr. OUDRANE Abdellatif



216 Pages

ISBN : 978-9947-

Dépôt Légal : Mai 2022

LA NOUVELLE PUBLICATION UNIVERSITAIRE

Impression-Édition-Distribution

N°02 Cooperative dawagine- Les Dahlias-Kiffane

Tlemcen-Algérie

Tel/Fax : + (213) (0) 43 277 687

Mobile : +(213) (0) 661 904 998

+(213) (0) 661 904 999

Courriel : npu_editions@yahoo.fr

Tous droits réservés à l'éditeur

2022

Préface

Cet ouvrage scientifique est :

Pour préparer le futur de nos ingénieures en énergétique des bâtiments;

Pour ouvrir des perspectives aux entreprises qui ont fait le choix de l'optimisation du confort habitable;

Pour orienter les politiques publiques afin de soutenir cet indispensable socle physique, base de la création des richesses d'une nation, de ses emplois, d'une société où il fait bon vivre.

Sans aucun doute vers ceux qui apportent les connaissances scientifiques et techniques, vers la recherche et la formation en génie mécanique énergétique et en énergies renouvelables. Ce livre de la recherche en transfert thermique habitable nous livre les nombreuses clés qui permettront de comprendre les phénomènes qui interviennent dans l'optimisation du confort thermique habitable, et d'agir en conséquence.

Près d'une centaine de chercheurs académiques et d'ingénieurs d'énergétique ont apporté leurs visions de l'état de l'art et des grands enjeux de la mécanique, dans leurs domaines respectifs. Nous vous invitons à la lecture d'un texte peuplé de modèles, de dispositifs expérimentaux, de couplages multi-physiques, de changements d'échelles... jusqu'aux méthodes qui cherchent à maîtriser les incertitudes. Au détour de plusieurs phrases, vous découvrirez que le progrès technique change de visage et devient plus complexe du fait qu'il doit de plus en plus mêler intimement les disciplines suivantes : mécanique, science des matériaux, physique, mathématiques, énergétique, technologies de l'information et de la communication, biologie, chimie...

Parce que demain il ne sera plus possible d'inventer des produits ou procédés sans considérer ces divers aspects. En plus, les entreprises de la mécanique, les centres techniques, les grands

opérateurs de recherche et les laboratoires académiques doivent développer leurs concertations pour créer les conditions des succès à venir.

À cet égard, ce livre de la recherche en transfert thermique habitable pourra être un outil précieux pour améliorer la connaissance réciproque des mondes industriels et académiques, favoriser la prise de conscience des grands enjeux de demain et donner à tous l'envie de travailler et gagner ensemble. Puisse ce livre favoriser des discussions approfondies et passionnées, et orienter résolument les sciences de la mécanique énergétique vers l'avenir.

Dr. OUDRANE Abdellatif

Avant-Propos

Le transfert thermique habitable est considéré, comme partie fondamentale de la physique, celle qui a le plus évolué depuis ces vingt dernières années. Comme elle traite des objets complexes et du temps, elle concerne finalement toutes les autres disciplines énergétiques.

Curieusement, l'enseignement ne s'est pas suffisamment nourri des recherches récentes. Dans ce modeste ouvrage scientifique qui tente précisément d'actualiser cet enseignement, on distingue cinq grandes parties.

Dans la première, on retrouve la modélisation fondamentale classiquement et la résolution des équations du transfert d'énergie qui compromettent l'eau chaude en mouvement dans la chaîne tubulaire de la dalle chauffante de l'enveloppe habitable.

La deuxième partie, on traite les équations qui gouvernent la diffusion thermique dans la dalle en béton et son rapport avec l'air ambiant. Dans cela, la diffusion thermique est développée plus loin, car le transport concerne celui de l'énergie interne. En effet, nous avons donné un aperçu général sur la technique du chauffage par sol, et en particulier la technique de plancher solaire direct.

La troisième partie, est constituée essentiellement de bases théoriques et quantitative de la modélisation du couplage thermique parfait entre la canalisation de fluide chaud et la dalle en béton dans système plancher chauffant (PSD).

La quatrième partie est épargnée pour la modélisation de différentes modes de transferts de chaleur qui se développent dans l'environnement habitable. Nous nous appuyons largement sur des équations-bilans pour exprimer essentiellement l'aide contenu dans le premier principe de la thermodynamique : le caractère conservatif de l'énergie totale d'un système, avec son terme de création fondamentalement lié à la flèche du temps. En plus cette modélisation est basée sur des données climatiques mesurées ré-

cemment par une station radiométrique installée dans l'unité de recherche en énergies renouvelables aux milieux saharienne de la région considérée.

La cinquième et dernière partie est retenue pour la modélisation et l'analyse potentielle solaire de la région d'Adrar. Dans ce contexte, nous avons abordé les principales modèles mathématiques semi-empiriques de rayonnements solaires pour un plan d'orientation quelconque.

Dans cela, on donne une introduction permet de situer le transfert thermique habitable dans le prolongement du comportement thermodynamique des bâtiments et de présenter qualitativement les notions de base de ce type de recherche. À cette occasion, on souligne l'intérêt de l'écriture du bilan thermique de tout point matériel constituer l'enveloppe habitable. Nous proposons ensuite une des approches simplifiées dans le but, d'une part, de souligner la signification fondamentale des concepts des échanges thermiques entre l'habitat et son environnement extérieur, et d'autre part de justifier les ordres des conditions climatiques de la région considérée.

Cet ouvrage s'adresse principalement aux étudiants du deuxième et le troisième cycle universitaire LMD (mécanique et physique): il sera donc clair, efficace et peu coûteux. Aussi comporte-t-il beaucoup d'exemples d'illustration et des cas d'études réels. Leurs solutions suffisamment détaillées, permettent à l'étudiant, et plus largement à l'autodidacte, de tester sa compréhension du cours et de prolonger sa réflexion. Avec ces exemples de la simulation numérique, nous pensons avoir rassemblé, dans un seul ouvrage, les éléments actuellement indispensables à l'acquisition d'un savoir et d'un savoir-faire en transfert thermique habitable.

Cet ouvrage scientifique doit beaucoup à certains collègues du Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB), Département de Génie Mécanique à l'École Nationale Polytechnique d'Oran (ENPO) et mes collègues du Laboratoire de Développement Durable et d'Informatique (LDDI) de l'Université Ahmed Draïa d'Adrar. Je tiens à remercier toutes ces personnes pour leurs remarques et commentaires constructifs.

L'Auteur

Mes Collaborateurs du Travail

Je tiens à remercier toutes les personnes collaborateurs qui ont contribué au succès de ce modeste travail et qui m'ont aidé lors de la rédaction de cet ouvrage scientifique.

N°	Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Tâche
01	HMOUDA Messaoud Directeur du laboratoire LDDI)	Professeur	Laboratoire de Développement Durable et Informatique (LDDI) Faculté des Sciences et de la Technologie. Université d'Adrar, Algeria 01000	Côté de données climatologiques réelles de la région d'Adrar pour l'année 2014
02	ZEGHMATI Belkacem (Chef du groupe mécanique énergétique au LAMPS)	Professeur	Laboratoire de Mathématiques et Physique (LAMPS). Université de Perpignan Via Domitia - Bât.B - 2e étage, 52 avenue Paul Alduy - 66860 PERPIGNAN Cedex France.	Côté physique et l'analyse phé- noménale
03	CHESNEAU Xavier (Ad- joint du chef d'équipe de la mécanique énergétique au LAMPS)	Professeur	Laboratoire de Mathé- matiques et PhySique (LAMPS). Université de Perpignan Via Domitia - Bât.B - 2e étage 52 avenue Paul Alduy - 66860 PERPI- GNAN Cedex France.	Côté analyse numérique et la programmation en code FRORTAN
04	EL MOKRE- TAR Soffiane (Attaché de recherche au CDER)	Attaché de recherche	Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) ; BP 62 Rte de l'Observatoire, Bouzareah, Alger	Côté de la méthode de différences Finies

05	AOUR Benaoumeur (Directeur du laboratoire LABAB)	Professeur	Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux-Département de Génie Mécanique- École Nationale Polytechnique d'Oran (ENPO-MA) BP 1523 El Mnaour, Oran 31000, Algérie	Côté de la rédaction et la correction grammaticale
06	BEN HASSINE Nidhal (Enseignant Chercheur Chez l'Université de Valenciennes, France)	Maître de Conférences Universités Habilité à Diriger des Recherches (HDR)	Université polytechnique Hauts-de-France (UPHF), Campus Mont Houy 59313, Valenciennes, France	Côté initiation de base en programmation par le langage FRORTAN

Comité d'Expertise Scientifique

Ce comité scientifique a été désigné par le conseil scientifique de la faculté (CSF) des sciences et de la technologie de l'université d'Adrar.

N°	Nom et prénom	Grade	Établissement
01	FERROUDJI Fatch	Professeur	Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien d'Adrar (URERMS)
02	BENATIALLAH Ali	Professeur	Université Ahmed Draia - Adrar
03	HAMOUDA Messaoud	Professeur	Université Ahmed Draia - Adrar

Fondement Scientifique du Laboratoire

Le recueil des travaux de recherche présenté ici, a été effectué au sein de l'équipe Systèmes Énergétiques et Microsystèmes Électromécaniques Fluidiques et Biologiques (SEMEFBio) du Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB) de l'École Nationale Polytechnique d'Oran Maurice Audin (ENPO-MA)^[1]. Ses travaux ont été faits en collaboration avec l'équipe d'Énergies Renouvelables et Développement Durable du Laboratoire de Développement Durable et Informatique (LDDI) de l'université Ahmed Draïa d'Adrar.

Notre travail d'équipe, s'inscrit dans les activités de l'équipe ingénierie et l'intégration des systèmes, consacrées au développement des micros et nano-systèmes fluidiques. La micro-fluidique se définit comme une branche de la science dédiée l'étude et la manipulation de fluides aux petites échelles.

La manipulation du fluide permet donc son étude, mais une fois les phénomènes physiques sont maîtrisés, ils peuvent être utilisés et exploités pour fabriquer des dispositifs innovants répondant à des problématiques issues de divers domaines tels que le chauffage par le sol, l'infiltration d'air au sein d'une enveloppe habitable et l'optimisation du confort thermique.

Notre plus grand objectif est de mener des activités de recherche interdisciplinaires à l'interface entre les micros et nanotechnologies, la biophysique, de l'environnement, et les applications énergétiques. Ainsi, nos études portent sur la compréhension des principaux mécanismes mis en jeu à l'échelle micro ou nano, le développement de modèles théoriques associés, la simulation multi-physiques et enfin la caractérisation des matériaux et des dispositifs. En outre, nous visons la démonstration de la reproductibilité, de la robustesse et de la fiabilité

de nos objets d'étude.

Les problématiques étudiées dans le cadre de ces travaux de recherche nécessitent le plus souvent une démarche globale qui comprend des phases de modélisation théorique, de résolution numérique et d'expérimentation étroitement imbriquées entre elles. Les résultats des recherches trouvent majoritairement des applications dans les domaines d'énergies renouvelables, de l'environnement, des transports mais aussi en thermique solaire¹.

*Dr. OUDRANE Abdellatif Membre actif
du Laboratoire de Développement Durable et
d'Informatique (LDDI) de Université Ahmed
Draïa d'Adrar. Membre associé au Laboratoire
de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux
(LABAB), Département de Génie Mécanique de
École Nationale Polytechnique d'Oran (ENPO-MA).*

Nomenclature

a	Largeur de la paroi	m
A	Surface d'échange considérée	m^2
b	Hauteur de la paroi	m
c	Longueur de la paroi	m
C_p	Chaleur spécifique du fluide	$kJ.Kg^{-1}.K^{-1}$
d	Diamètre de tube	m
e	Épaisseur de la paroi	m
Gr	Nombre adimensionnel de Grashof	-
$\overline{H_0}$	Moyenne mensuelle des sommes quotidiennes du rayonnement solaire	$W.m^{-2}$
H_0	Somme quotidienne du rayonnement solaire extra-terrestre	$W.m^{-2}$
h	Hauteur du soleil	$(^\circ)$
h_s	Heure de lever du soleil	h
Nu	Nombre adimensionnel de Nusselt	-
I_0	Éclairement solaire au sommet de l'atmosphère	$W.h.m^{-2}$
K	Coefficient de conduction du mur	$W.m^{-1}.K^{-1}$
P	Pression du fluide caloporteur	Pas
Q_{abs}	Quantité de la chaleur absorbée	$W.m^{-2}$
$Q_{émis}$	Quantité de la chaleur émise	$W.m^{-2}$
φ	Latitude du lieu	$(^\circ)$
φ_i	Quantité de la chaleur élémentaire	W
ϕ_i	Quantité de la chaleur élémentaire émise	W
R	Résistance thermique de la paroi	$m^2.K.W^{-1}$
t	Temps	s
$Temps_G$	Temps global du calcul	s
T	Température	$^\circ C$

v	Vitesse du fluide selon le l'axe (Ox)	$m.s^{-1}$
u	Vitesse du fluide selon le l'axe (Oy)	$m.s^{-1}$
ZM	Azimut soleil	($^{\circ}$)

Lettres grecques

α_i	Coefficient d'absorption du matériau	-
δ	Durée de déphasage entre la température maximale et le rayonnement maximal	h
λ	Conductivité thermique du fluide	$W.m^{-1}.K^{-1}$
θ_{PS}	Angle d'inclinaison de la paroi Sud	($^{\circ}$)
θ_{PN}	Angle d'inclinaison de la paroi Nord	($^{\circ}$)
θ_{PO}	Angle d'inclinaison de la paroi Ouest	($^{\circ}$)
θ_{PE}	Angle d'inclinaison de la paroi Est	($^{\circ}$)
θ_{PFP}	Angle d'inclinaison de la paroi Fond plafond	($^{\circ}$)
ρ	Masse volumique du fluide	$Kg.m^{-3}$
Λ	Durée d'ensoleillement	h
ω	Angle horaire du soleil	($^{\circ}$)
ω_S	Angle horaire du lever pour un plan horizontal	($^{\circ}$)

Abréviations

FSG	Flux solaire global	$W.m^{-2}$
FSGH	Flux solaire global horizontal	$W.m^{-2}$
FSIS	Flux solaire incident sur la paroi Sud	$W.m^{-2}$
FSIO	Flux solaire incident sur la paroi Ouest	$W.m^{-2}$
FSIE	Flux solaire incident sur la paroi Est	$W.m^{-2}$
RDIFH	Rayonnement diffus horizontal	$W.m^{-2}$
RDIRH	Rayonnement direct horizontal	$W.m^{-2}$
RGIN	Rayonnement global incident sur la paroi Nord	$W.m^{-2}$

RGIS	Rayonnement global incident sur la paroi Sud	$W.m^{-2}$
RGIO	Rayonnement global incident sur la paroi Ouest	$W.m^{-2}$
RGIE	Rayonnement global incident sur la paroi Est	$W.m^{-2}$
URER4MS	Unité de recherche des énergies renouvelables en milieux saharien	-
TPEE	Température de la façade externe de la paroi Est	(°C)
TPFPE	Température de la façade externe de la dalle plafond	(°C)
TPNE	Température de la façade externe de la paroi Nord	(°C)
TPSE	Température de la façade externe de la paroi Sud	(°C)
TPOE	Température de la façade externe de la paroi Ouest	(°C)
TPNI	Température de la façade interne de la paroi Nord	(°C)
TPSI	Température de la façade interne de la paroi Sud	(°C)
TPFPI	Température de la façade interne de la dalle plafond	(°C)
TPOI	Température de la façade interne de la paroi Ouest	(°C)
TPEI	Température de la façade interne de la paroi Est	(°C)
T _{amb}	Température ambiante	(°C)

Unités de Mesures

La maîtrise des unités de mesure et des conversions en multiples et sous-multiples est essentielle en sciences physiques et en mathématiques :

- Pour la compréhension des énoncés d'exercices ;
- Pour la rédaction des questions à traiter.

Par conséquent, vous devez être capable :

- D'associer dans un texte le symbole de mesure employée à sa grandeur ;
- De reconnaître le préfixe accolé à une unité de mesure ;
- De convertir une unité en multiples ou sous-multiples.

1. Système international d'unités de mesure (SI)

Les unités les plus courantes à mémoriser :

Quelques Unités de Base		
<i>Grandeur</i>	<i>Unité Légale</i>	<i>Symbole</i>
Longueur ou distance	mètre	<i>m</i>
Angle plan	radian	<i>rad</i>
Masse	kilogramme	<i>Kg</i>
Temps	seconde	<i>s</i>
Énergie	Joule	<i>J</i>
Pression	Pascal	<i>Pa</i>
Capacité	Litre	<i>L</i>
Quantité de matière	mole	<i>mol</i>
Température thermodynamique	Kelvin	<i>K</i>
Intensité lumineuse	candela	<i>cd</i>
Force	Newton	<i>N</i>

2. Multiples et sous-multiples

On entend par multiples et sous-multiples des unités de mesures le produit de l'unité légale de la mesure par une puissance de 10.

Les multiples et sous-multiples à mémoriser :

Multiple ou sous-multiple	Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
Multiple	$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	giga	<i>G</i>
Multiple	$1\ 000\ 000 = 10^6$	méga	<i>M</i>
Multiple	$1\ 000 = 10^3$	kilo	<i>K</i>
Multiple	$100 = 10^2$	hecto	<i>h</i>
Multiple	$10 = 10^1$	déca	<i>da</i>
Sous-multiple	$0,1 = 10^{-1}$	déci	<i>d</i>
Sous-multiple	$0,01 = 10^{-2}$	centi	<i>c</i>
Sous-multiple	$0,001 = 10^{-3}$	milli	<i>m</i>
Sous-multiple	$0,000001 = 10^{-6}$	micro	<i>μ</i>

Pour former le symbole d'un multiple (ou sous-multiple) d'une unité de mesure, on accole le symbole de ce même multiple (en préfixe) à celui de l'unité.

Sommaire

Préface	5
Avant-Propos	7
Mes Collaborateurs du Travail	9
Comité d'Expertise Scientifique	10
Fondement Scientifique du Laboratoire	11
Nomenclature	13
Unités de Mesures	16
Sommaire	18
1. Introduction Générale.....	23
2. Agencement du Travail	27
3. L'Énergie Solaire pour le Chauffage Habitable.....	28
4. L'art de la Modélisation du Chauffage d'Habitat	29
4.1. Cadre Conceptuel de la Problématique	30
Modélisation d'Écoulement du Fluide dans la Canalisation	
5. Formulations et Modélisation Numérique.....	34
5.1. Modélisation d'Écoulement du Fluide dans la Canalisation	
5.1.1. Description du Problème Physique	34
5.1.2. Formulation Mathématique d'Écoulement.....	35
5.1.2.1. Hypothèses Simplificatrices.....	35
5.1.3. Équations Régissant le Champ Hydrodynamique, Thermique et Massique.....	36
5.1.4. Conditions Initiales et les Conditions aux Limites.....	36
5.1.5. Variables Adimensionnelle des Équations Locales	37
5.1.6. Maillage du Domaine du Fluide.....	38
5.1.7. Organigramme de la Modélisation d'Écoulement du Fluide.....	41
5.1.8. Résultats et Discussion	43
5.1.8.1. Effet de la Variation du Nombre de Reynolds sur la Vitesse du Fluide.....	43
5.1.8.2. Effet de l'Emplacement du Fluide dans la Canalisation	

sur la Vitesse d'Écoulement	44
5.1.8.3. Évolution de la Température du fluide dans la Canalisation en Fonction de la Variation d'Espace sur le l'axe (Ox).	45
5.1.8.4. La Conservation d'Énergie du Fluide dans la Canalisation de la Dalle du Béton.....	46
5.1.8.5. Conclusion	47
5.1.9. Code en Langage FORTRAN du Calcul d'Écoulement du Fluide dans la Canalisation de la Dalle Chauffante (CFD).....	48
5.1.10. Données d'Entrées et de Sorties du Code CFD.....	61
5.1.10.1. Données d'Entrées du Code CFD	61
5.1.10.2. Algorithme de GAUSS.....	62
5.1.10.3. Algorithme de Thomas.....	62
5.1.11. Valorisation de Recherche dans cette Partie de la Modélisation d'Écoulement du Fluide dans la Canalisation de la Dalle	63

Modélisation de la Diffusion Thermique au Sein de la Dalle en Béton

5.2. Modélisation de la Diffusion Thermique au Sein de la Dalle en Béton.	66
5.2.1. Modèle Physique de la Dalle Chauffante.....	66
5.2.2. Modèle Mathématique de la Diffusion Thermique.....	66
5.2.3. Conditions initiales et les Conditions Aux Limites.....	68
5.2.4. Adimensionnalisation des Variables.....	69
5.2.5. Traitement Numérique	69
5.2.6. Hypothèses du Calcul	71
5.2.7. Maillage du Domaine Solide (Béton).....	71
5.2.8. Organigramme de la Modélisation de la Diffusion Thermique.....	71
5.2.9. Résultats et Discussion	73
5.2.9.1. Évolution Spatiale de la Température de la Dalle en Béton.....	73
5.2.9.2. Évolution de la Température de la Dalle en Fonction du Temps.....	74

5.2.9.3. Conclusion.....	75
5.2.9.4. Code du Calcul en Langage FORTRAN de la Modélisation de la Diffusion Thermique	75
5.2.9.5. Tableaux des Données d'Entrées et Sorties du Code de la Diffusion Thermique (CCD)	82
5.2.9.6. Valorisation des Recherches dans cette Partie de la Modélisation de la Diffusion Thermique dans la Dalle en Béton.....	83

Modélisation du Couplage Thermique Fluide – Structure

5.3. Modélisation du Couplage Thermique Entre l'eau Chaud et la Dalle en Béton.....	86
5.3.1. Conditions Initiales et Aux Limites du Système Étudié	
5.3.2. Méthodologie du Couplage	88
5.3.3. Interface Fluide-Structure.....	88
5.3.4. Équations Adimensionnelles	90
5.3.5. Conditions Initiales et Aux Limites Adimensionnelles	
5.3.6. Données de la Simulation Numérique.....	92
5.3.7. Organigramme du Couplage Thermique Fluide-Structure.....	94
5.3.8. Code du Calcul en Langage FORTRAN de la Modélisation du Couplage Thermique.....	96
5.3.9. Résultats et Discussion	115
5.3.9.1. Validation du Modèle Numérique	115
5.3.9.2. Évolution de la Température de la Dalle en Fonction du pas d'Espace.....	116
5.3.9.3. Conclusion.....	117
5.3.9.4. Valorisation des Recherches dans cette Partie de la Modélisation du Couplage Thermique Fluide-Structure ...	118

Modélisation de Différentes Modes de Transferts de Chaleur de l'Enveloppe Habitable

5.4. Modélisation de Différentes Modes de Transferts de Chaleur qui se Déroulent dans l'Habitat	120
---	-----

5.4.1. Données Climatique de la Région d'Adrar	120
5.4.2. Description de l'Enveloppe Habitable Étudiée ...	122
5.4.3. Modélisation de Transferts Thermiques Habitable.....	122
5.4.3.1. Mise en Place du Modèle et Résolution Numérique ...	124
5.4.3.2. Détermination des Paramètres mise en Jeu dans le Fonctionnement du Système.....	127
5.4.3.3. Coefficients du Transfert de Chaleur	127
5.4.3.3.1. Transfert de Chaleur par Conduction.....	127
5.4.3.3.2. Transfert de Chaleur par Convection Naturelle..	128
5.4.3.3.3. Transfert de Chaleur par Rayonnement ...	128
5.4.3.3.4. Détermination des Coefficients de Transfert de Chaleur par Conduction.....	129
5.4.3.3.5. Détermination des Coefficients de Transferts de Chaleur par Rayonnement.....	131
5.4.4. Évaluation du Confort Thermique	147
5.4.4.1. Déperditions par Ventilation	148
5.4.5. Organigramme de la Modélisation Numérique.....	155
5.4.6. Code du Calcul en Langage FORTRAN de la Modélisation de Transferts Thermiques au Sien de l'Enveloppe Habitable	156
5.4.7. Résultats et Discussion.....	182
5.4.7.1. Évolution de Températures Ambiantes Interne et Externe.....	182
5.4.7.2. Évolution de la Température Interne de l'Enceinte...	184
5.4.8. Conclusion	184
5.4.9. Valorisation des Travaux dans la Partie de la Modélisation de Différentes Modes de Transferts Thermiques au Sein de l'Habitat	185

Modélisation et Analyse du Gisement Solaire dans la Région d'Adrar

5.5. Modélisation et Analyse du Gisement Solaire dans la Région d'Adrar	188
5.5.1. Région Désertique d'Adrar	188
5.5.2. Caractères Climatologie de la Région.....	189
5.5.3. Paramètres Météorologiques.....	189

5.5.4. Outils de Mesures des Données Climatiques.....	192
5.5.5. Modélisation de l'Évolution Journalière de la Température Ambiante et du Rayonnement Solaire Global	194
5.5.6. Organigramme de la Modélisation de la Température et le Rayonnement Solaire Journalier	194
5.5.7. Code du Calcul en Langage FORTRAN de la Modélisation de la Température et le Rayonnement Solaire Journalier.....	196
5.5.8. Résultats et Discussion	197
5.5.8.1. Validation de la Théorie et Confrontation avec l'Expérience	197
5.5.8.2. Évolution de la Densité du Flux Direct et Diffus Horizontal.....	198
5.5.8.3. Évolution de la Densité du Flux Solaire des Parois Inclinées de l'Habitat.....	199
5.5.9. Conclusion.....	202
5.5.10. Valorisation des Travaux dans la Partie de la Modélisation du Gisement Solaire dans la région d'Adrar.....	203
Références Bibliographiques	205

Annexes

Annexe (A)	210
A. Présentation des Laboratoires.....	210
A.1. Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux (LABAB)	210
A.1.2. Équipes de recherche	211
A.1.3. Submenu	212
A.2. Laboratoire de Développement Durable et d'Informatique (LDDI)	212
A.2.1. Objectifs de la recherche scientifique LDDI ..	212
A.2.2. Équipes de Recherche	213
Bibliographie de l'Auteur	214

1.Introduction Générale

Au cours des dix dernières années, nous avons assisté à un véritable engouement autour des actions en faveur de la haute qualité environnementale. En effet, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est l'un des secteurs le plus consommateur d'énergie^[2]. Cependant, les bâtiments et les maisons individuelles sont conçus pour jouer un rôle de filtre thermique permettant de recréer un microclimat intérieur indépendant des fluctuations météorologiques extérieures. La forme, l'orientation, l'agencement et la composition des éléments constitutifs déterminent les caractéristiques de ce filtre. Les ambiances intérieures ne répondant pas toujours aux exigences du confort des occupants, la réponse de l'habitat est corrigée par des appareils de climatisation ou du chauffage agissant comme des sources contrôlées de chaleur ou de froid, et ayant parfois un effet sur les conditions de confort habitable^[3].

Dans les milieux bâtis, le confort thermique constitue une exigence essentielle à laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires. La définition du confort thermique est ainsi d'une grande importance pour le bâtiment afin de lui permettre d'atteindre ses objectifs de fonctionnalité tout en justifiant, à tort ou à raison, l'installation des équipements d'ambiance (chauffage, ventilation et climatisation)^[4].

Dans le cadre de changement climatique où la limitation des gaz à effet de serre est essentielle, et devant la menace d'épuisement des combustibles fossiles, le défi présenté est de trouver des sources d'énergie innovantes pour répondre à une nécessité toujours plus pressante. En effet, les énergies renouvelables peuvent être des solutions en raison de leur abondance^[5].

Une énergie renouvelable est une source d'énergie considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain.

Les énergies renouvelables se présentent sous cinq usages :

- **La biomasse** désigne l'ensemble des matières organiques d'origine végétale (algues incluses), animale ou fongique pouvant devenir source d'énergie par combustion (par exemple : bois énergie), après méthanisation (biogaz) ou après de nouvelles transformations chimiques (Agro-carburant).
- **L'énergie éolienne** est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie provenant du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur.
- **La géothermie** désigne l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.
- **L'énergie hydraulique** est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique.
- **L'énergie solaire** pourrait permettre de répondre à une grande partie de la demande mondiale en électricité. Il existe trois gammes :
 - Le solaire photovoltaïque demande l'utilisation exclusivement de très grandes surfaces (contrairement à des éoliennes installées sur des surfaces agricoles). Le stockage par batterie étant très limité, cette technologie n'est envisageable qu'à petite échelle sur des surfaces comme les toitures, et des abris de parking qui ne sont pas valorisables autrement.
 - Le solaire thermique sans concentration permet de fournir de l'eau chaude sanitaire. C'est une bonne alternative au chauffe-eau électrique. Mais ce n'est pas une solution très efficace à grande échelle pour le chauffage ou la production d'électricité.
 - La gamme thermodynamique à concentration semble aujourd'hui être une alternative plausible pour répondre à la problématique mondiale de production d'énergie.

Elle n'émet pas de gaz à effet de serre. Les technologies disponibles pour le stockage de chaleur peuvent permettre de garantir la production électrique en l'absence de soleil pendant certaines périodes.

Par ailleurs, les modèles décrivant le comportement thermodynamique des maisons individuelles permettent de plus en plus de comprendre et concevoir l'enveloppe passive en vue d'obtenir les moindres consommations énergétiques et un plus grand confort thermique, de prédire la réponse de l'habitat à des situations extrêmes afin de dimensionner les enveloppes habitables, les installations et, enfin, d'aider à mettre au point de nouveaux systèmes ou stratégies de contrôle ^[3].

La problématique abordée dans ce travail de recherche est de rationaliser le recours à des énergies coûteuses et de concevoir des enveloppes habitables plus confortables ce qui nous a amené à chercher de mieux connaître et de bien maîtriser le comportement du processus de conception et de gestion des maisons en se basant sur l'optimisation énergétiques des paramètres géométriques et thermiques influençant le confort dans l'habitat. Ceci représente l'objectif primordial de ces travaux de recherche. Pour atteindre cet objectif, nous nous intéresserons aux méthodes de calcul qui permettent de modéliser les bâtiments ; il s'agit de prévoir et expliquer l'évolution de leur comportement thermique et les conséquences qui en découlent en réponse aux excitations que lui appliquent leur environnement climatique naturel et les exigences thermiques que nous devons tenir en compte.

Autrement dit, la détermination des consommations énergétiques dans une maison individuelle peut se limiter à des bilans de masse et d'énergie. De plus, la connaissance des données du champ de température, données du champ du flux solaire et l'allure des mouvements d'air sont nécessaires pour effectuer une étude très poussée ^[6].

D'ailleurs, ces données permettent d'évaluer le confort